

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 730 848 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
11.09.1996 Patentblatt 1996/37

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **A61F 2/00**

(21) Anmeldenummer: **96102401.5**

(22) Anmeldetag: **17.02.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**ES FR GB IT**

(72) Erfinder: **Freitag, Lutz Dr**  
**D-58675 Hemer (DE)**

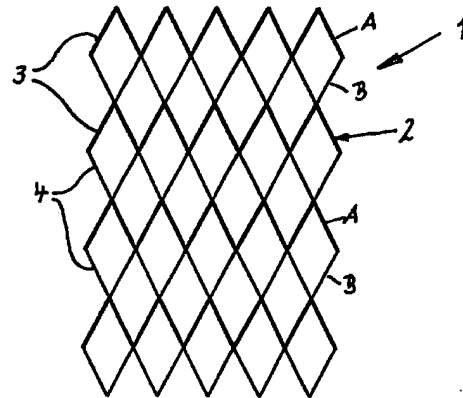
(30) Priorität: **06.03.1995 DE 19508805**

(74) Vertreter: **Ksoll, Peter, Dr.**  
**Bergstrasse 159**  
**44791 Bochum (DE)**

(71) Anmelder: **WILLY RÜSCH AG**  
**D-71394 Kernen (DE)**

(54) **Stent zum Anordnen in einer Körperhöhle**

(57) In einem Stent (1) mit einem flexiblen Stützgerüst (2) sind Drähte (3, 4) aus Nitinol angeordnet, welche jeweils eine unterschiedliche Formgedächtnisfunktion aufweisen. Der Draht (3) geht bei einer Temperatur von 35 °C vom martensitischen in den austenitischen Zustand über. Bei den Drähten (4) geschieht dies erst bei einer Temperatur von 40 °C. Bei Raumtemperatur ist der Stent klein, plastisch und unelastisch. Nach Platzierung im Körper entfaltet er sich durch die Rückstellkraft der Drähte (3). Durch Applikation von Wärme gehen auch die Drähte (4) in den austenitischen Zustand über. Damit verdoppelt sich die Rückstellkraft des gesamten Stents. Erst wenn Kälte bis unter den Hysteresepunkt angelegt wird, sinkt die Rückstellkraft wieder.



*Fig. 1*

**EP 0 730 848 A2**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einerseits einen Stent zum Anordnen in einer Körperhöhle gemäß den Merkmalen im Oberbegriff des Anspruchs 1 und andererseits ein Verfahren zur Veränderung der Konfiguration eines in einer Körperhöhle platzierten Stents gemäß den Merkmalen im Oberbegriff des Anspruchs 7.

Stents sind hohlzylindrische Platzhalter die operativ, percutan oder endoskopisch implantiert werden, um tubuläre Körperhöhlen, wie beispielsweise Luftröhre, Bronchien, Speiseröhre, Gallengänge, Harnwege, Blutgefäße und ähnliche im Körper offenzuhalten.

Derartige Stents müssen einer äußeren Kompression, welche beispielsweise durch einen Tumor oder einen Lymphknoten hervorgerufen wird oder einer Gefäßstriktur infolge von Verätzung, Verkalkung oder Vernarbung, mit ihrer Rückstellkraft widerstehen.

Zum Offenhalten von Stenosen sind Stents unterschiedlicher Konfiguration und Ausbildung bekannt. Es gibt Kunststoff-, Metall- und Hybridkonstruktionen. Viele haben fixierte Enddurchmesser und sind selbstexpandierend (DE-GM 91 16 881 oder DE-OS 42 40 177).

Andere Ausführungsformen lassen sich durch geeignete Mittel, z. B. Ballons oder Spreizer, im Durchmesser verändern und der jeweiligen anatomischen Situation anpassen. Ein solcher Stent ist aus der US-PS 52 01 901 bekannt.

Weiterhin gehören zum Beispiel durch die DE-OS 42 19 949 Stents aus einer sogenannten Formgedächtnislegierung zum Stand der Technik. Eine Formgedächtnislegierung ist beispielsweise Nitinol. Dieses weist zwei abgrenzbare Zustände auf, die temperaturabhängig eintreten. Nach Vorbehandlung ist Nitinol im kalten Zustand martensitisch, d. h. plastisch verformbar, ohne eine relevante elastische Rückstellkraft. Bei Erwärmung geht es in einen austenitischen, elastischen Zustand über.

Die Formgedächtniseigenschaft wird zur Selbstentfaltung bei unterschiedlichen Stents ausgenutzt.

Die Rückstellkraft, d. h. die Kraft mit der der Stent einer Kompression entgegenwirkt, hängt von der Konstruktion und der Drahtstärke ab.

Es gibt weiterhin Stents aus thermoelastischen Kunststoffen, wie Polyurethan, bei denen die Rückstellkraft von der Materialstärke abhängt.

Die bekannten Stents erfüllen je nach Ausführungsform und Anwendungsfall ihre Funktion zufriedenstellend. Dennoch ist es wünschenswert, die Rückstellkraft eines Stents in vivo, d. h. nach Einlage in den Körper, verändern zu können, um so eine Anpassung auf veränderte Zustände vorzusehen, die sich beispielsweise durch ein Tumorwachstum ergeben.

Der Erfindung liegt ausgehend von dem im Oberbegriff des Anspruchs 1 beschriebenen Stent die Aufgabe zugrunde, einen Stent zu schaffen, bei dem die Rückstellkraft im Körper verändert werden kann. Weiterhin zielt die Erfindung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 7 auf ein Verfahren ab, welches eine einfa-

che Veränderung der Konfiguration eines in eine Körperhöhle platzierten Stents ermöglicht.

Die Lösung des gegenständlichen Teils der Aufgabe besteht in den in den Kennzeichen des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmalen.

Die Lösung des verfahrensmäßigen Teils der Aufgabe wird in den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 7 gesehen.

Kernpunkt der Erfindung bildet die Maßnahme im Stützgerüst eines Stents Drähte mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion zu verwenden. Solche Legierungen werden meist aus einer Kombination der beiden Metalle Nickel und Titan gebildet (Nitinol). Dieses Material hat bei einer tiefen Temperatur eine komprimierte Struktur. Es dehnt sich jedoch bei Überschreiten einer Grenztemperatur aus. Die jeweils gewünschten Grenzbedingungen können durch eine entsprechende Wahl der Legierungskomponenten eingestellt werden.

Ein solcher Draht besitzt ein Hystereseverhalten, d. h. er geht bei einer definierten ersten Umwandlungstemperatur vom martensitischen in den austenitischen Zustand über. Diesen Zustand hält der Draht so lange bei, bis seine Temperatur unter einem zweiten ebenfalls definierten Umwandlungspunkt abgekühlt wird. Dann geht er wieder in weichen, verformbaren, martensitischen Zustand zurück. Dieser Vorgang ist beliebig wiederholbar. Zwischen dem ersten und dem oberen Umwandlungspunkt/-temperatur und dem zweiten unteren Umwandlungspunkt besteht eine Temperaturdifferenz von mehreren Grad. Diese wird als Hysterese bezeichnet.

Erfindungsgemäß werden Drähte im Stützgerüst angeordnet, welche bei unterschiedlichen Temperaturen vom martensitischen in den austenitischen Zustand übergehen. Da hierbei eine Hysterese von mehreren Grad auftritt, kann ein Stützgerüst hergestellt werden, welches z. B. durch Applikation von Wärme im physiologischen Bereich in verschiedene Rückstellkräfte versetzt werden kann. Auch ist es möglich, die geometrische Gestalt eines Stents im Ganzen oder nur bereichsweise zu verändern. So kann man einen Stent bereitstellen, der sich an seinen Enden stärker ausformt als in seinem mittleren Bereich. Damit kann die Festlegung eines Stents in einer Körperhöhle unterstützt werden.

Gemäß den Merkmalen des Anspruchs 2 ist das Stützgerüst in mindestens zwei Längenabschnitte mit jeweils eine unterschiedliche Formgedächtnisfunktion aufweisenden Drähten gegliedert.

Je nach gewünschten Eigenschaften, die ein Stent aufweisen soll, wird die Anordnung der Drähte im Stützgerüst ausgewählt. So können Drähte, die jeweils eine unterschiedliche Formgedächtnisfunktion aufweisen, im Stützgerüst abwechselnd angeordnet sein. Es ist aber auch möglich, sie in Gruppen zusammenzufassen.

Damit kann ein Stent nur in einem bestimmten Längenbereich versteift bzw. zusätzlich versteift werden.

So ist es von Vorteil, eine Speiseröhrenprothese (Stent) nur in dem Längenbereich zu versteifen, in dem

ein Tumor sitzt. An anderen Stellen aber eine Peristaltik (Schluckakt) zuzulassen. Verändert sich der Tumor durch Wachstum, so daß er einen längeren Speiseröhrenabschnitt beeinträchtigt, kann dann ein entsprechend längerer Abschnitt der Prothese (Stent) versteift und/oder dieser Abschnitt mit einer höheren Rückstellkraft ausgerüstet werden können. Bildet sich der Tumor jedoch zurück, wäre es wiederum wünschenswert, die Rückstellkraft zu vermindern.

Ein Stent kann aus alternierenden Reihen von Drähten aus Nitinol bestehen, wobei die einen Drähte bei 35 °C und die anderen Drähte bei 41 °C in den austenitischen Zustand übergehen. Bei Raumtemperatur ist der Stent klein, plastisch und unelastisch. Nach Einlage in den Körper erwärmt der Stent auf die Körpertemperatur von ca. 37 °C. Er entfaltet sich dabei durch die Rückstellkräfte der ersten Nitinoldrähte. Bei Bedarf können auch die anderen Nitinoldrähte durch Applikation von Wärme umgestellt werden, so daß sie in den austenitischen Zustand übergehen. Damit verdoppelt sich die Rückstellkraft des gesamten Stents.

Die Applikation von Wärme kann durch einen Ballon mit warmem Wasser, aber auch durch elektrischen Strom oder Mikrowellen erfolgen. Erst wenn Kälte bis unter den Hystereseppunkt zugefügt wird, z.B. durch Applikation von Eiswasser, so daß eine Wärmeabfuhr erfolgt, sinkt die Rückstellkraft wieder.

Der Stent kann im Körper verbleiben und bei Bedarf wieder entfaltet werden. Ein solcher Stent kann aber auch auf einfache Weise wieder aus dem Körper entfernt werden.

Nach den Merkmalen des Anspruchs 3 sind in Umfangsrichtung des Stützgerüsts Drähte mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion verteilt vorgesehen. So kann z.B. ein Stent aus drei verschiedenen Nitinolen hergestellt werden. Mit einem durchspülen Ballonkatheter, der vorzugsweise über eine Temperaturregelung verfügt, ist es dann möglich, an beliebiger Stelle des Stents die Rückstellkraft in drei Abstufungen einzustellen. Durch Kälteapplikation ist dies vollständig reversibel.

In einem Stent können beliebige Konfigurationen des Stützgerüsts vorgesehen sein. Die Drähte können im Stützgerüst unverknüpft oder aber in geeigneter Weise untereinander verbunden sein. Bei den Drähten, die eine definierte Umwandlungstemperatur und ein Hystereseverhalten aufweisen, kann es sich um Metalllegierungen handeln (Anspruch 4). Die Drähte können aber auch aus Kunststoff bestehen (Anspruch 5).

Eine den allgemeinen Erfindungsgedanken weiterbildende Ausführungsform ist im Anspruch 6 charakterisiert, wonach das Stützgerüst in einen Mantel aus Elastomer eingebettet ist. Hierbei kann es sich insbesondere um ein Memory-Elastomer handeln. Dies ist ein temperaturabhängiges Elastomer, welches in kaltem Zustand hart und klein ist. Folglich kann der Stent gut in der Körperhöhle platziert werden. Erst bei Körpertemperatur bzw. geringfügig unterhalb kommt es zur Expansion des Stents.

Das Stützgerüst kann auch aus einzelnen klammerartigen Drahtspangen aufgebaut sein, welche hintereinander angeordnet sind. Solche Klammerspangen umschließen den Umfang des Stents teilweise. Vorteilhaft sind sie zueinander versetzt angeordnet. Die einzelnen Klammerspangen bestehen aus unterschiedlichen Nitinolen und sind in Silikon eingegossen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Veränderung der Konfiguration eines in einer Körperhöhle platzierten Stents ist im Anspruch 7 charakterisiert. Wichtig ist, daß der Stent mindestens bereichsweise durch eine gezielte Wärme- bzw. Kälteapplikation hinsichtlich der Rückstellkraft und/oder seiner geometrischen Gestalt einflußbar ist. So ist es möglich, mit der medizinisch erforderlichen Präzision genau auf die Bereiche des Stents einzuwirken, in dem eine Umwandlung erfolgen soll.

Vorzugsweise kommt für die Wärme- bzw. Kälteapplikation nach den Merkmalen des Anspruchs 7 ein Ballonkatheter mit einer Temperaturkontrolle und/oder -Steuerung zum Einsatz. Der Ballonkatheter ist so ausgebildet, daß er über seine Länge Zonen veränderbarer Temperatur aufweist. Auf diese Weise kann eine gezielte Wärme- bzw. Kälteapplikation auf Bereiche des Stents vorgenommen werden.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 einen abgewickelten Ausschnitt aus einem erfindungsgemäßen Stent;

Figur 2 den abgewickelten Ausschnitt einer weiteren Alternative eines Stents;

Figur 3 eine weitere Ausführungsform eines Stents.

Die Figur 1 zeigt einen abgewickelten Ausschnitt aus einem Stent 1 mit einem Stützgerüst 2, welches aus zickzackförmig angeordneten Drähten 3 und 4 aufgebaut ist.

Die Drähte 3 bestehen aus einem Nitinol mit Hystereseverhalten und einer definierten Umwandlungstemperatur von 35 °C, wohingegen die Drähte 4 aus einem Nitinol mit einer Umwandlungstemperatur von 40 °C besteht. Auf diese Weise werden im Stent 1 einzelne Ringe A und B mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion gebildet.

Die Ringe A und B sind in Figur 1 durch unterschiedlich dicke Linien angedeutet.

Jeweils abhängig von der Umwandlungstemperatur gehen die Ringe A und B in den austenitischen Zustand über. Bei Raumtemperatur ist der Stent 1 klein und plastisch jedoch unelastisch. Nach dem Platzen in eine Körperhöhle entfaltet sich der Stent 1 bei Körpertemperatur durch den Zustandswechsel der Ringe A. Die Ringe A halten dann ihren Zustand bei.

Bei Bedarf können auch die Ringe B entfaltet werden. Dies erfolgt durch die Applikation von Wärme. Hierdurch verdoppelt sich die Rückstellkraft des gesamten Stents 1.

Eine Applikation von Wärme kann auch gezielt auf nur einzelne Ringe B vorgenommen werden, um eine Aufweitung der Ringe B nur in diesem Bereich vorzunehmen.

In der Figur 2 ist der Ausschnitt aus einem Stent 5 dargestellt, bei dem Drähte 6-9 mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion in Umfangsrichtung des Stützgerüsts 10 vorgesehen sind. Das Stützgerüst 10 ist in einen Mantel 11 aus einem Elastomer eingebettet.

Die Drähte 6-9 bestehen jeweils aus einer unterschiedlichen Legierung, deren Umwandlungstemperatur bei 35 °C, 38 °C, 40 °C bzw. 42 °C liegt und die ein Hystereseverhalten aufweisen. Auf diese Weise ist es möglich, die Rückstellkraft in vier Abstufungen einzustellen. Dies geschieht durch gezielte Wärmeapplikation. Durch Kälteapplikation ist der Vorgang vollständig reversibel.

Der aus der Figur 3 ersichtliche Stent verfügt über ein geflochtenes Stützgerüst 13.

Das Stützgerüst 13 besteht aus Kunststoffdrähten 14, 15 mit Formgedächtnisfunktion. Auch die Kunststoffdrähte 14, 15 verfügen über eine definierte Umwandlungstemperatur und zeigen ein Hystereseverhalten.

#### Patentansprüche

1. Stent (1, 5, 12) zum Anordnen in einer Körperhöhle mit einem flexiblen Stützgerüst (2, 10, 13) aus Drähten, welche aus einem Material mit einer Formgedächtnisfunktion bestehen, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Stützgerüst (2, 10, 13) Drähte (3, 4, 6-9, 14, 15) mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion aufweist.
2. Stent (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Stützgerüst (2) in mindestens zwei Längenabschnitte (A, B) mit jeweils eine unterschiedliche Formgedächtnisfunktion aufweisenden Drähten gegliedert ist.
3. Stent (2, 12) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Umfangsrichtung des Stützgerüsts (10, 13) Drähte (6-9, 14, 15) mit unterschiedlicher Formgedächtnisfunktion verteilt vorgesehen sind.
4. Stent (1, 5) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drähte (3, 4, 6-9) aus einer eine definierte Umwandlungstemperatur und ein Hystereseverhalten aufweisenden Formgedächtnislegierung, insbesondere Nitinol, bestehen.

5. Stent (12) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drähte (14, 15) aus einem eine definierte Umwandlungstemperatur und ein Hystereseverhalten aufweisenden Formgedächtnis-Kunststoff bestehen.
6. Stent nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Stützgerüst (10) in einen Mantel (11) aus Elastomer, insbesondere einem Memory-Elastomer, eingebettet ist.
7. Verfahren zur Veränderung der Konfiguration eines in einer Körperhöhle platzierten Stents nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Stent mindestens bereichsweise durch eine gezielte Wärme- oder Kälteapplikation hinsichtlich der Rückstellkraft und/oder der geometrischen Gestalt beeinflußt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wärme- bzw. Kälteapplikation durch einen Ballonkatheter mit Temperaturkontrolle und/oder -Steuerung erfolgt.

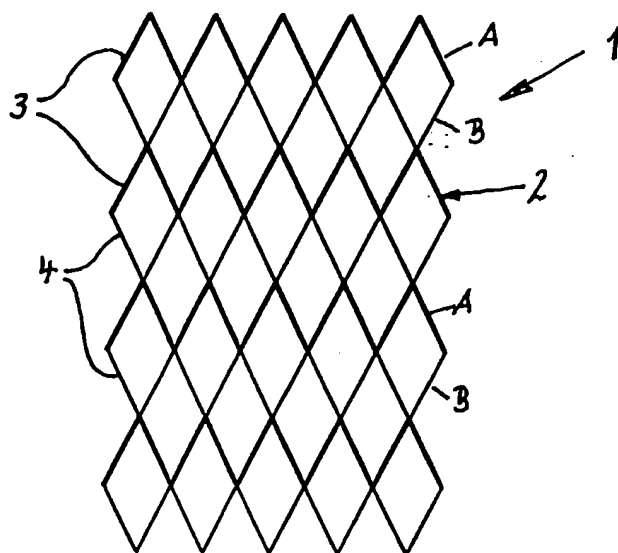


Fig. 1

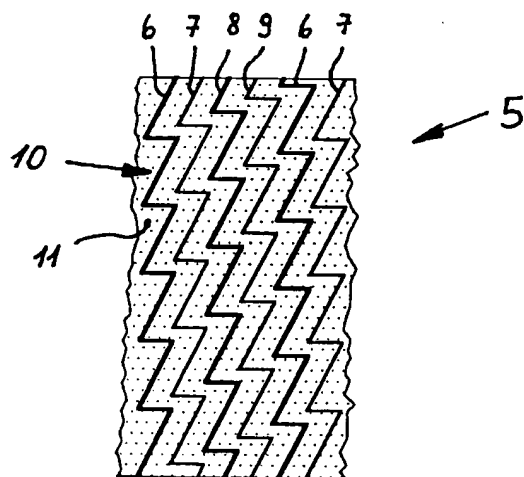


Fig. 2

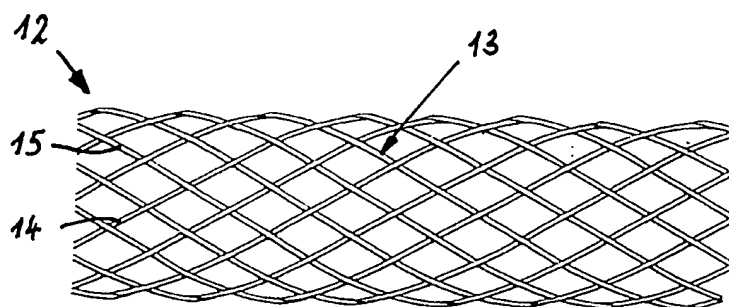


Fig. 3